

Sommaire

| | |
|---|------------|
| 1. La réglementation..... | 7 |
| 1.1. Historique de la réglementation..... | 7 |
| 1.2. Application de la nouvelle réglementation..... | 8 |
| Questionnaire de positionnement..... | 15 |
| 2. Généralités sur les systèmes thermodynamiques..... | 21 |
| 2.1. Grandeurs et unités..... | 21 |
| 2.2. Quelques définitions pour une machine frigorifique..... | 22 |
| 2.3. Le cycle de réfrigération simple étage..... | 23 |
| Auto-évaluation | 24 |
| 2.4. Le circuit frigorifique..... | 26 |
| 2.5. Les tracés de cycles frigorifiques..... | 27 |
| Auto-évaluation | 34 |
| 3. Les fluides frigorigènes..... | 35 |
| 3.1. Rôle..... | 35 |
| 3.2. Choix d'un fluide frigorigène | 35 |
| 3.3. Désignation d'un frigorigène..... | 37 |
| 3.4. Choix d'un fluide frigorigène en fonction de son application | 38 |
| 3.5. Les huiles frigorifiques..... | 39 |
| 4. Technologie des compresseurs frigorifiques..... | 41 |
| 4.1. Rôle..... | 41 |
| 4.2. Types de compresseurs | 41 |
| 4.3. Technologie des compresseurs | 42 |
| 4.4. Grandeurs caractéristiques des compresseurs | 45 |
| 4.5. Etanchéité des compresseurs..... | 47 |
| 4.6. Lubrification des compresseurs | 48 |
| 4.7. Variation des puissances de compresseurs | 50 |
| 4.8. Centrale frigorifique | 51 |
| 4.9. By-passage des gaz..... | 51 |
| 4.10. Utilisation d'un régulateur de capacité | 51 |
| Auto-évaluation | 53 |
| 5. Le condenseur | 55 |
| 5.1. Rôle..... | 55 |
| 5.2. Classification | 55 |
| 5.3. Puissance calorifique..... | 55 |
| 5.4. Types de condenseurs | 57 |
| Auto-évaluation | 58, 60, 62 |
| 6. L'évaporateur | 63 |
| 6.1. Rôle..... | 63 |
| 6.2. Classification | 63 |
| 6.3. Puissance frigorifique | 63 |
| 6.4. Types d'évaporateurs..... | 65 |
| Auto-évaluation | 66, 68 |

| | |
|---|------------|
| 7. Technologie des détendeurs..... | 69 |
| 7.1. Rôle..... | 69 |
| 7.2. Types de détendeurs | 69 |
| Auto-évaluation | 77 |
| 8. Les régulateurs de pression | 79 |
| 8.1. Régulateur de pression d'évaporation | 79 |
| 8.2. Régulateur de pression d'aspiration | 82 |
| 8.3. Régulateur de capacité..... | 84 |
| 8.4. Régulateur de pression de condensation | 85 |
| Auto-évaluation | 88 |
| 9. Régulation des installations..... | 91 |
| 9.1. La régulation thermostatique avec protection minimum | 91 |
| 9.2. La régulation par tirage au vide automatique..... | 92 |
| 9.3. La régulation par tirage au vide unique..... | 95 |
| 9.4. Le dégivrage des installations | 97 |
| Auto-évaluation | 101 |
| 10. Manipulations sur les installations..... | 103 |
| 10.1. La paire de manomètres | 103 |
| 10.2. La vanne de service..... | 104 |
| 10.3. Raccordement d'une paire de manomètres | 106 |
| 10.4. La recherche de fuites | 110 |
| 10.5. Le tirage au vide | 112 |
| 10.6. La charge en fluide frigorigène | 113 |
| 10.7. Réglage des pressostats | 116 |
| 10.8. Critères de bon fonctionnement | 121 |
| 10.9. Contrôles de fuites au secteur | 124 |
| 10.10. Récupération du fluide frigorigène..... | 127 |
| 10.11. Rédaction d'une fiche d'intervention | 133 |
| Auto-évaluation | 134 |
| 11. Déroulement de l'attestation d'aptitude dans un centre | 137 |
| 11.1. Le test théorique | 137 |
| 11.2. Le test pratique..... | 137 |

LA RÉGLEMENTATION

1/ Historique de la réglementation

Il s'agit ici de retracer un historique de l'évolution de la réglementation portant sur l'utilisation des fluides frigorigènes : chlorofluorocarbures (CFC), hydrochlorofluorocarbures (HCFC) et hydrofluorocarbures (HFC). Les autres fluides frigorigènes utilisés dans nos systèmes (ammoniac, dioxyde de carbone, propane...) ne sont pas concernés par cette réglementation (il conviendra malgré tout de respecter les règles de l'art lors d'interventions sur des systèmes utilisant ces fluides).

| | |
|-----------------------|---|
| De 1930 à 1973 | Utilisation des CFC et HCFC dans de nombreuses installations frigorifiques. |
| 1974 | En 1974, deux scientifiques américains soupçonnent les CFC d'attaquer la couche d'ozone. |
| 1977 | En 1977, les Nations Unies créent un comité de surveillance de l'évolution de la couche d'ozone. |
| 1987 | En 1987, compte tenu de leur impact sur la couche d'ozone, on décide de limiter l'utilisation pour rapidement supprimer les CFC et HCFC. |
| 1992 | Le 7 décembre 1992, la France publie un décret imposant la récupération des CFC lors des interventions sur les installations. |
| 1995 | Interdiction d'utilisation des CFC dans toutes les installations neuves ou nécessitant une recharge. |
| 1998 | Interdiction d'utilisation des HCFC dans toute installation neuve d'entreposage public de plus de 150 kW sur l'arbre. |
| 2000 | Le règlement n° 2037/2000 établit un calendrier d'élimination des HCFC. |
| 2004 | Interdiction de mettre sur le marché des équipements de réfrigération et de climatisation chargés avec un HCFC à compter du 1 ^{er} janvier 2004. |
| 2007 | Décret n° 2007-737 du 7 mai 2007 relatif à certains fluides frigorigènes utilisés dans les équipements frigorifiques et climatiques. |
| 2008 | Arrêté du 13 octobre 2008 relatif à la délivrance des attestations d'aptitude prévues à l'article R. 543-106 du Code de l'environnement. |
| 2010 | Interdiction de stocker et d'utiliser des HCFC vierges dans la maintenance et l'entretien de tels équipements à compter du 1 ^{er} janvier 2010. |
| 2011 | À partir du 4 juillet 2011, il sera obligatoire de détenir une attestation d'aptitude pour intervenir sur un circuit frigorifique. |
| 2015 | Interdiction de stocker et d'introduire des HCFC, même recyclés, à compter du 1 ^{er} janvier 2015. |
| Après 2015 | ... |

■ Présentation générale de l'attestation d'aptitude

À partir du 30 juin 2008, une attestation de capacité est exigée pour tout opérateur (entreprise), pour toutes les catégories d'activités suivantes :

- Catégorie I : Contrôle d'étanchéité, maintenance et entretien, mise en service, récupération des fluides des équipements de tous les équipements de réfrigération, de climatisation et de pompe à chaleur;
- Catégorie II : Maintenance et entretien, mise en service, récupération des fluides des équipements de réfrigération, de climatisation et de pompe à chaleur contenant moins de 2 kg de fluide frigorigène et contrôle d'étanchéité des équipements de réfrigération, de climatisation et de pompe à chaleur;
- Catégorie III : Récupération des fluides des équipements de réfrigération, de climatisation et de pompe à chaleur contenant moins de 2 kg de fluide frigorigène;
- Catégorie IV : Contrôle d'étanchéité des équipements de réfrigération, de climatisation et de pompe à chaleur;
- Catégorie V : Contrôle d'étanchéité, maintenance et entretien, mise en service, récupération des fluides des systèmes de climatisation de véhicules, engins et matériels mentionnés à l'article R. 311-1 du Code de la route.

Le technicien qui réalise une de ces activités devra passer l'attestation d'aptitude. Cet ouvrage ne traite que des catégories I à IV.

■ Référentiel de l'examen de l'attestation d'aptitude

Art. 1^{er} – L'attestation d'aptitude prévue au deuxième alinéa de l'article R. 543-106 du Code de l'environnement est délivrée par un organisme évaluateur certifié, à toute personne physique qui a réussi l'évaluation d'aptitude organisée selon les modalités décrites à l'annexe I du présent arrêté. Elle n'a pas de limite de validité.

Annexe I : modalités d'évaluation des compétences

- Organisation générale de l'évaluation : pour chacune des catégories mentionnées à l'annexe I de l'arrêté du 30 juin 2008 susvisé, l'évaluation comprend :
 - une **épreuve théorique** constituée de plusieurs questions destinées à évaluer les compétences ou connaissances désignées par la **lettre (T)** dans la colonne réservée à chaque catégorie,
 - une **épreuve pratique** durant laquelle le candidat devra exécuter les tâches indiquées à l'aide du matériel, de l'outillage et de l'équipement nécessaires, désignées par la **lettre (P)** dans la colonne consacrée à chaque catégorie.
- L'évaluation porte sur les groupes de compétences et de connaissances : 1, 2, 3, 4, 5 et 10. Elle porte sur au moins un des groupes de compétences et de connaissances 6, 7, 8 et 9. Le candidat ne sait pas, avant l'évaluation, sur lequel de ces quatre groupes il sera évalué.

Questionnaire de positionnement

Afin de connaître votre besoin en formation, vous pouvez répondre au questionnaire ci-après. Il est construit de façon à :

- vous permettre de vous évaluer individuellement. Ainsi objectivement, si vous faites beaucoup d'erreurs, vous avez eu raison d'acheter ce livre...
- vous renvoyer vers le chapitre vous permettant de vous corriger en cas d'erreur.

Pour savoir si vous êtes prêts, il faut que vous ayez plus de 70 % de bonnes réponses par item... soit 1 faute par item... à vos stylos...

Connaître les unités normalisées ISO pour la température, la pression, la masse, la masse volumique et l'énergie

■ Remplissez le tableau ci-dessous (*Réponses au chapitre 2*)

| Grandeur | Unité légale |
|-----------------|--------------|
| Température | |
| Pression | |
| Masse | |
| Masse volumique | |
| Énergie | |

Connaître les caractéristiques de base des systèmes thermodynamiques : terminologie, paramètres et processus essentiels tels que « surchauffe », « côté haute pression », « chaleur de compression », « enthalpie », « effet de réfrigération », « côté basse pression », « sous-refroidissement », propriétés et transformations thermodynamiques des fluides frigorigènes, y compris l'identification des mélanges zéotropiques et des états des fluides.

■ Qu'est-ce qu'un HFC? (*Réponse au chapitre 3*)

.....
.....
.....

■ Qu'est-ce qu'un fluide frigorigène azéotropique? (*Réponse au chapitre 3*)

.....
.....
.....

■ Qu'est-ce qu'un fluide frigorigène zéotropique? (*Réponse au chapitre 3*)

.....
.....
.....

3/ Le cycle de réfrigération simple étage

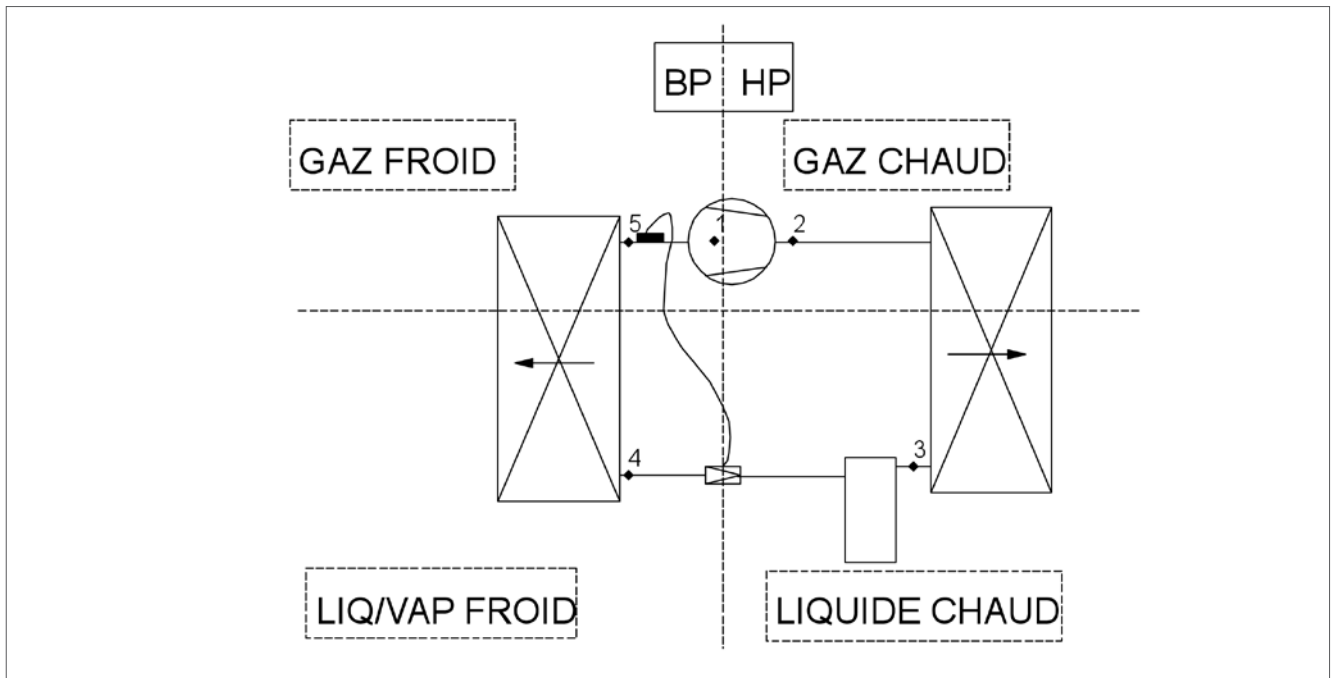
On entend par « cycle simple étage », un cycle avec un seul étage de compression assurant le passage de la basse pression à la haute pression.

En application de ce qui a été écrit au paragraphe précédent :

- pour abaisser la t° de l'air, il faudra lui retirer de la chaleur. On utilisera un échangeur (évaporateur) permettant le phénomène de changement d'état d'un fluide frigorigène dont la t° d'évaporation sera inférieure à celle du milieu à réfrigérer,
- ce fluide sera alors comprimé et transféré à un niveau de t° supérieur afin de le condenser,
- pour condenser le fluide frigorigène, il faudra lui retirer de la chaleur. On utilisera un échangeur (condenseur) permettant le changement d'état à une t° de condensation supérieure à celle du médium de condensation,
- pour obtenir un fluide frigorigène froid, on détendra le fluide frigorigène (utilisation d'un détendeur).

Remarques : il n'existe une relation pression - température que lors des changements d'état.

Il y aura donc 4 états, donc 4 zones du fluide frigorigène dans notre circuit, mais seulement 2 pressions.



Prenons l'exemple d'une pompe à chaleur, air/eau, pour le chauffage d'une maison, fonctionnant au R410A (fluide frigorigène quasi-azéotropique). La température extérieure est au moment de vos mesures de $+7^\circ\text{C}$, la température de départ d'eau est alors de $+45^\circ\text{C}$.

Le régime de fonctionnement, définissant par convention les températures de rosée (fin d'ébullition), s'établit alors à :

- température d'évaporation = 0°C (le fluide s'évapore environ 7 K en dessous de la température extérieure);
- température de condensation = $+50^\circ\text{C}$ (le fluide se condense environ 5 K au-dessus de la température de départ).

■ Les compresseurs semi-hermétiques

Appelé hermétique accessible, ce compresseur regroupe la partie entraînement et compression. Les éléments du moto-compresseur sont logés dans un carter étanche. Ce carter reste cependant démontable afin qu'on puisse accéder aux organes internes.

Le moteur électrique est refroidi par les vapeurs aspirées ou parfois par l'air ambiant.

■ Les compresseurs hermétiques

Ce sont aussi des motocompresseurs dont le carter métallique est soudé et indémontable. La réparation de ce type de compresseur est impossible ou laissée à des entreprises spécialisées. Le moteur électrique est refroidi par les vapeurs aspirées.

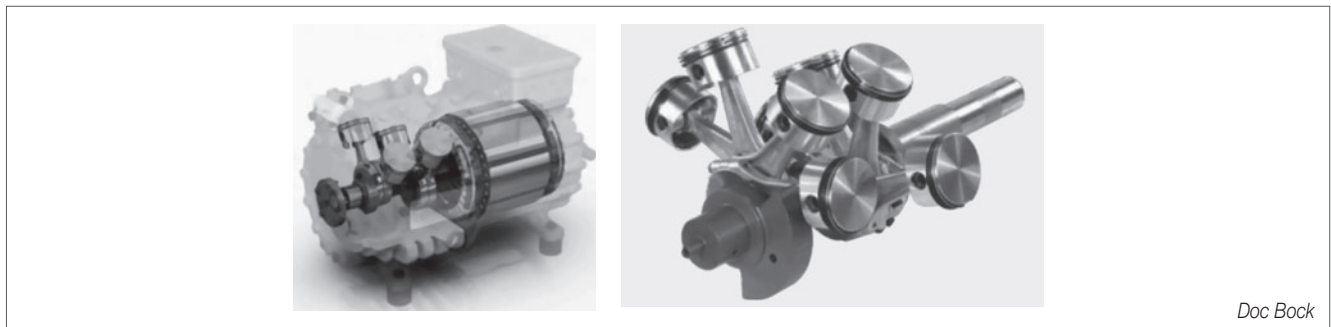
3/ Technologie des compresseurs

La compression peut être obtenue par diminution du volume disponible, on parle alors de compresseurs volumétriques. On peut obtenir la compression du fluide par transformation de l'énergie cinétique en pression, on parle alors de compresseurs centrifuges ou turbocompresseurs.

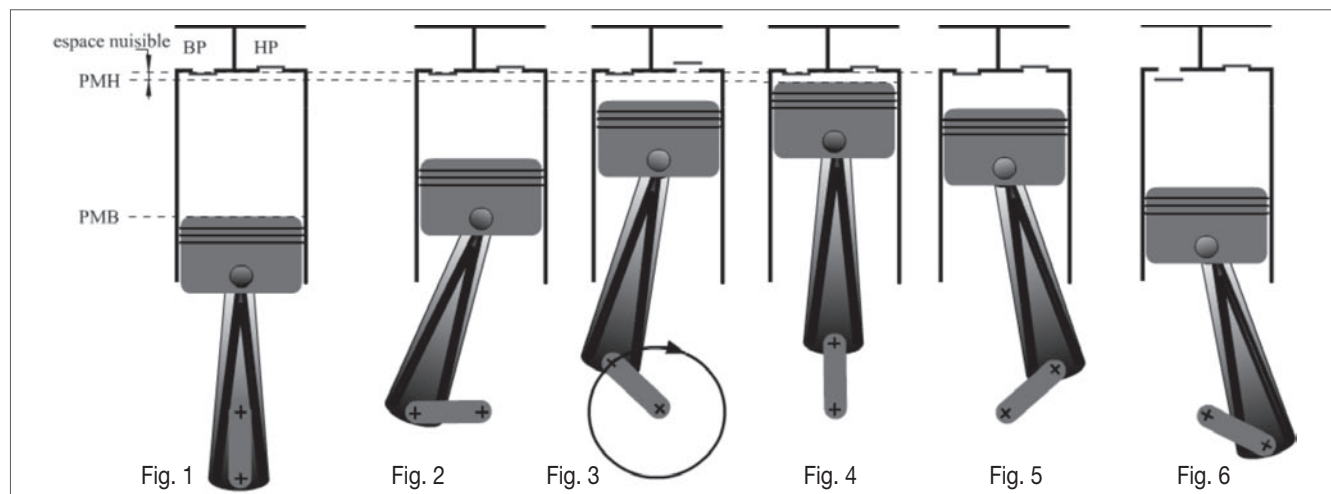
■ Les compresseurs volumétriques

Les compresseurs alternatifs

Ce sont les compresseurs à pistons.



Principe de fonctionnement d'un compresseur à piston



■ Régulation de la pression de condensation

Très souvent, il nous faudra réguler la pression de condensation pour éviter que la HP ne chute de trop. Pourquoi ?

Le matériel est sélectionné pour un fonctionnement été. En hiver le détendeur thermostatique « classique » (le problème ne se pose pas avec un détendeur « électronique »), dont le débit d'injection est proportionnel à la différence de pression qu'on lui applique, injecte moins de liquide dans l'évaporateur (HP diminue). Comme le compresseur est capable d'aspirer plus de vapeur, la pression d'équilibre sera plus basse qu'en fonctionnement « été ». Les conditions d'entreposage des produits ne seront plus identiques au fonctionnement « été » (déshumidification).

Une solution, très utilisée jusqu'à aujourd'hui, consiste à maintenir artificiellement constante la pression de condensation...

On agit principalement sur l'échange :

- plus ou moins de débit de médium de condensation ;
- engorgement du condenseur (voir chap. 7).

4/ Types de condenseurs

■ Condenseur à air

- En standard, chez Profroid, la gamme est basée sur l'association de tubes cuivre et ailettes aluminium (pas d'ailettes = 2,12 mm).
- Si l'ambiance est agressive, d'autres matériaux sont disponibles (tube cuivre/ailettes aluminium protection vinyle...).
- Pression maximale de service 32 bars annoncée chez Guntner.

La puissance calorifique évacuée par le condenseur dépend de :

- l'écart de température entre la condensation du fluide et l'entrée d'air au condenseur. Dans la documentation technique Profroid, il est fixé à 15 K en standard. Pour ce DT, le sous-refroidissement est alors de 3 K. On peut avoir jusqu'à 7 K sur demande ;
- du débit d'air engendré par le fonctionnement des ventilateurs. Le débit d'air du ventilateur dépend directement du sens de rotation de ce dernier. S'il tourne à l'envers, le débit sera inférieur à celui prévu...



Modèle Soprano Profroid

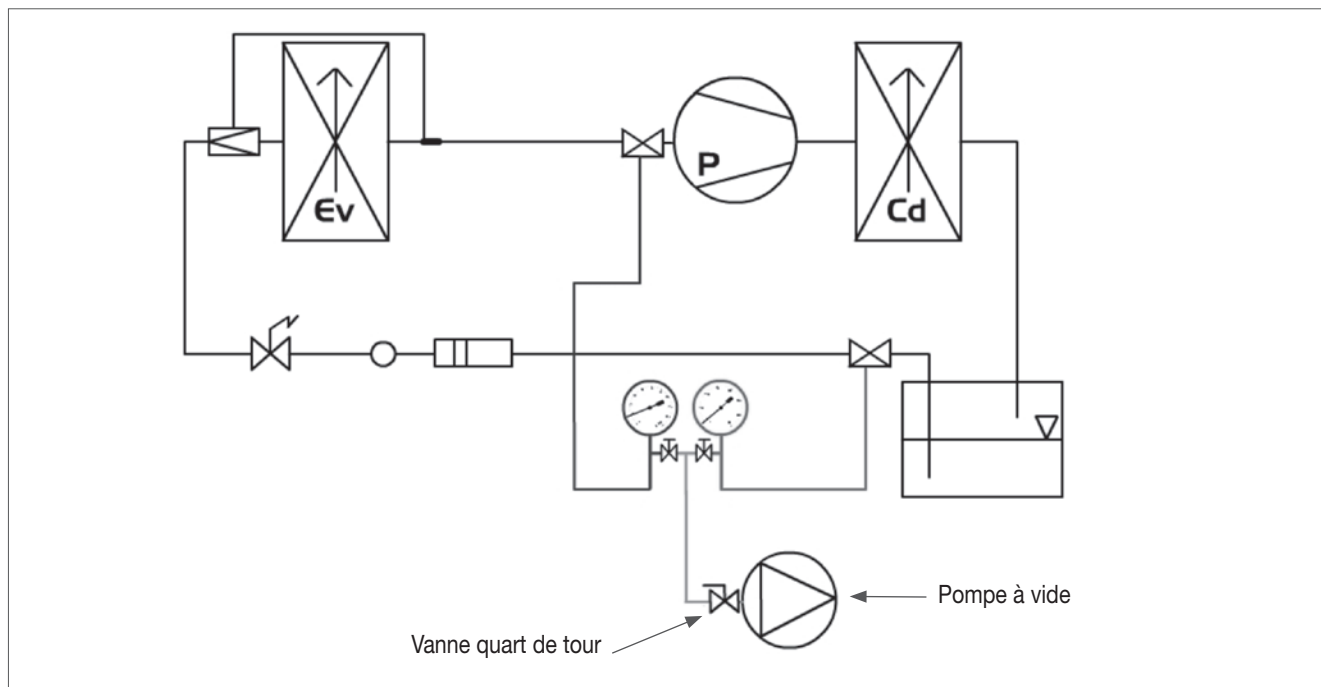
Remarques :

- Chez Guntner, le sous-refroidissement est de 2 à 3 K pour un DT de 13 K... chez Searle, ce sous-refroidissement est de 7 K pour un DT de 15 K...
- Si la température de condensation diminue, le sous-refroidissement diminue aussi. Ainsi, il pourra être de 0 à 2 K en hiver et de 3 à 7 K pour un DT de 15 K (en fonction de la marque de condenseur).
- On inverse le sens de rotation d'un moteur électrique triphasé en inversant 2 de ses 3 phases.

3/ Raccordement d'une paire de manomètres

■ La pose des manomètres

Schéma frigorifique avec paire de manomètres et pompe à vide



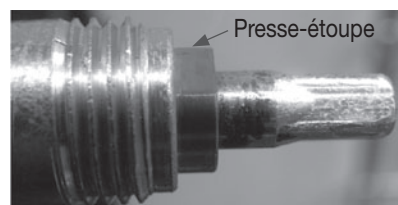
Première étape : Raccordement

Avant toute chose, vérifiez que vos manomètres sont bien étalonnés (0 bar à la Patm). Si ce n'est pas le cas, vous avez une vis de réglage sur chaque manomètre.

01. Retirer les capuchons de protection en plastique se trouvant sur les vannes de service (aspiration et refoulement compresseur ou bien aspiration et départ liquide du réservoir HP).



02. Desserrer les presse-étoupes légèrement afin de ne pas abîmer le joint d'étanchéité lors de la manœuvre.



5/ Le tirage au vide

■ À quel moment l'humidité peut-elle pénétrer dans un circuit ?

La réponse est simple, à chaque ouverture du circuit, en cas de perte de la totalité du fluide frigorigène et bien évidemment lors du montage de votre installation. Lorsqu'une partie du montage se déroule à l'extérieur, prenez l'habitude de préserver autant que possible vos tuyauteries, échangeurs, vannes, de l'humidité. Quelques gestes simples suffisent, fermez les conduites en attente avec de l'adhésif et surtout ne raccordez votre déshydrateur qu'au dernier moment.

Avant le tirage au vide et la charge en fluide frigorigène, n'hésitez pas à effectuer un premier tirage au vide puis ensuite casser le vide à l'azote déshydraté. Cette manipulation aura pour effet de retirer un maximum d'humidité. En règle générale, le fait de pressuriser votre circuit à l'azote pour votre recherche de fuite permet non seulement de détecter des fuites (voir 10.4), mais également d'absorber l'humidité résiduelle. Un long tirage au vide (plusieurs heures) suffira par la suite pour assécher complètement votre circuit.

■ Quelles sont les conséquences de l'humidité ?

L'humidité peut entraîner un bouchon de glace au niveau du détendeur, une corrosion des éléments métalliques avec une attaque chimique des isolants et une décomposition de l'huile du compresseur (formation d'acide).

■ Le tirage au vide

Votre circuit ne doit plus être sous pression.

Il est conseillé d'utiliser un vacuomètre (indicateur de vide) pour le tirage au vide. Il est plus précis que les manovacuumètres montés sur nos manifolds. Il existe deux modèles : le vacuomètre à aiguille et électronique.

01. Raccorder le flexible central (jaune) doté d'une vanne quart de tour sur la pompe à vide.
02. S'assurer que les vannes de service du compresseur soient bien en position intermédiaire (plus grand qu'en lecture).
03. Vérifier que toutes les vannes du circuit sont bien ouvertes : vannes manuelles, électrovanne (alimenter la bobine ou bien la remplacer par un aimant).
04. Ouvrir les deux robinets du by-pass ainsi que la vanne quart de tour du flexible central.
05. Mettre la pompe à vide en fonctionnement. Le temps de tirage au vide est fonction de la taille de l'installation. Le voyant liquide peut éventuellement vous aider : la couleur de sa pastille doit virer progressivement au vert (signe que le circuit ne contient plus d'humidité).
06. Vérifier la pression régnant dans le circuit (les aiguilles doivent indiquer -1 bar).
07. Lorsque le tirage au vide est terminé :
 - fermer les robinets du by-pass,
 - fermer la vanne quart de tour du flexible,
 - arrêter la pompe à vide.